



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Patentschrift
10 DE 196 54 210 C 2

51 Int. Cl.⁶:
G 02 B 26/10
G 02 B 21/00

21 Aktenzeichen: 196 54 210.3-51
22 Anmeldetag: 24. 12. 96
43 Offenlegungstag: 25. 6. 98
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 9. 12. 99

DE 196 54 210 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:

Leica Microsystems Heidelberg GmbH, 69120
Heidelberg, DE

72 Erfinder:

Engelhardt, Johann, Dr., 76669 Bad Schönborn, DE;
Ulrich, Heinrich, Dr., 69121 Heidelberg, DE

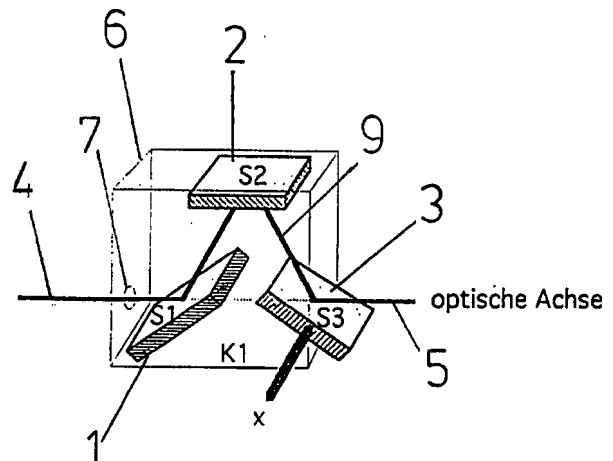
56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 43 22 694 A1

"Two-axisbeam steering system, TABS" Jean
Montagn,
Proceedings Reprint, The international Society
of Optical Engineering Vol. 1920, 1993;
A laser flying Spot scanner for use in automated
fluorescence antibody instrumentation Stombada
A.F., Journal of the Associations for the
Advancement of Medical Instrumentation 1972
Vol. 6, No. 3, May-June, S. 230 ff.;

54 Optische Anordnung zum Scannen eines Strahls in zwei im wesentlichen senkrecht zueinander liegenden
Achsen

- 57 Optische Anordnung zum Scannen eines Strahls in
zwei im wesentlichen senkrecht zueinander liegenden
Achsen, insbesondere zur Anwendung bei konfokalen La-
serscanmikroskopen, mit zwei mittels jeweils eines An-
triebs um senkrecht zueinander liegende Achsen – x-Ach-
se und y-Achse – drehbaren Spiegeln (1, 3), dadurch ge-
kennzeichnet, daß einem der beiden Spiegel (1, 3) ein
weiterer Spiegel (2) in einer vorgegebenen Winkelposi-
tion drehfest zugeordnet ist, so daß die einander zugeord-
neten Spiegel (1, 2) – erster und zweiter Spiegel – gemein-
sam um die y-Achse drehen und dabei den Strahl (4) um
einen Drehpunkt drehen, der auf der Drehachse – x-Achse
– des alleine drehenden dritten Spiegels (3) liegt.



DE 196 54 210 C 2

Die Erfindung betrifft eine optische Anordnung zum Scannen eines Strahls in zwei im wesentlichen senkrecht zueinander liegenden Achsen, insbesondere zur Anwendung bei konfokalen Laserscannmikroskopen, mit zwei mittels jeweils eines Antriebs um senkrecht zueinander liegende Achsen – x-Achse und y-Achse – drehbaren Spiegeln.

Grundsätzlich handelt es sich hier um eine Anordnung zum Scannen eines Strahls in zwei im wesentlichen senkrechten Achsen, wobei es hier darauf ankommt, den Lichtstrahl in beiden Achsen um die Pupille des Objektivs oder einer dazu konjugierten Ebene zu drehen.

Aus der Praxis sind bereits unterschiedlichste Ausführungsformen eines xy-Scanners bekannt. Aus dem Paper von Jean Montagu "Two-axis beam steering system, TABS" Proceedings Reprint, SPI – The International Society for Optical Engineering, Vol. 1920, 1993 (reprinted from Smart Structures and Materials 1993 "Active and Adaptive Optical Components and Systems II, 1–4 February 1993, Albuquerque, New Mexico) sind unterschiedliche Scanner bekannt.

Bei dem Einspiegelscanner ist ein einziger, um eine Achse drehender Spiegel vorgesehen, wobei die Drehachse des Spiegels nicht der optischen Achse entspricht. Einspiegelscanner umfassen in der Regel einen kardanisch aufgehängten Spiegel zum Scannen sowohl in x- als auch in y-Richtung. Aufgrund des hier lediglich singulären Spiegels werden zwar Lichtverluste durch mehrere Spiegel minimiert, dafür muß jedoch der x-Galvanometer stets mitbewegt werden, d. h. dessen Masse muß beschleunigt und abgebremst werden. Dies limitiert die Bildrate auf ca. zehn Bilder pro Sekunde, und zwar wegen der ansonsten zu großen Schwingungseinträge in das Mikroskopsystem. Außerdem kann ein resonanter Scanner wegen des dafür notwendigen stehenden Einbaus nicht verwendet werden.

Beim Zweispiegelscanner sind zwei unter einem vorgegebenen Winkel zueinander angeordnete Spiegel vorgesehen, die üblicherweise um orthogonal zueinander angeordnete Drehachsen drehen. Eine solche Anordnung ist jedoch nicht zwingend erforderlich. Der einfallende Strahl verläuft auf jeden Fall parallel zu der Drehachse des im Strahlengang letzten Spiegels.

Des weiteren sind sog. Paddle-Scanner und Golf-Club-Scanner als besondere Ausführungsformen des Zweispiegelscanners bekannt. Bei diesen Scannern wird die Drehung des Strahls um einen virtuellen Drehpunkt lediglich näherungsweise erreicht, was grundsätzlich zu Abbildungsfehlern führt.

Gemäß Slomba A. F. "A laser flying spot scanner for use in automated fluorescence antibody instrumentation" (Journal of the Association for the Advancement of Medical Instrumentation) 1972, Vol. 6 No. 3 May-June, Seite 230 ff. sind ebenfalls Spiegelscanner unter dem Gesichtspunkt der Anwendung in der Fluoreszenzmikroskopie sowie in der Konfokalmikroskopie bekannt. Hierauf sei lediglich ergänzend hingewiesen.

Die zuvor erörterten bekannten optischen Anordnungen zum Scannen eines Strahls in zwei im wesentlichen senkrecht zueinander liegenden Achsen sind in der Praxis aus den unterschiedlichsten Gründen problematisch. Im Vordergrund stehen hier sicherlich erhebliche Abbildungsfehler sowie die weiterreichende Problematik dahingehend, daß zumindest einer der Antriebe stets mitbewegt werden muß, was zu einer ganz erheblichen Begrenzung der Bildrate führt. Jedenfalls erreichen die bekannten Zweispiegelanordnungen eine Drehung des Strahls um einen virtuellen Drehpunkt nur annäherungsweise, wodurch bei diesen Scannern ganz erhebliche Abbildungsfehler entstehen.

Aus der DE 43 22 694 A1 ist für sich gesehen eine optische Anordnung zum Scannen eines Strahls bei einem konfokalen Laserscannmikroskop bekannt. Zwei in x- und in y-Achsenrichtung angetriebenen Spiegeln ist ein weiterer dritter Spiegel zugeordnet, der eine zusätzliche Ablenkung des Strahls bewirkt. Die dort vorgesehenen Spiegel drehen unabhängig voneinander und sind auch unabhängig voneinander justierbar, wodurch sich ein ganz erheblicher Aufwand in der Justage ergibt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine optische Anordnung zum Scannen eines Strahls in zwei im wesentlichen senkrecht zueinander liegenden Achsen anzugeben, wonach gravierende Abbildungsfehler vermieden sind, wonach eine hohe Bildrate für Real-Time-Anwendungen, d. h. für übliche Videogeschwindigkeit, möglich ist und wonach sich das Bild insbesondere bei der Konfokalmikroskopie leicht einstellen bzw. zentrieren läßt.

Die erfindungsgemäße Anordnung zum Scannen eines Strahls in zwei im wesentlichen senkrecht zueinander liegenden Achsen löst die voranstehende Aufgabe durch die Merkmale des Patentanspruches 1. Danach ist die eingangs genannte optische Anordnung – Zweispiegelscanner – dadurch ergänzt, daß einem der beiden Spiegel ein weiterer Spiegel in einer vorgegebenen Winkelposition drehfest zugeordnet ist, so daß die einander zugeordneten Spiegel – erster und zweiter Spiegel – gemeinsam um die y-Achse drehen und dabei den Strahl um einen Drehpunkt drehen, der auf der Drehachse – x-Achse – des alleine drehenden dritten Spiegels liegt.

Erfindungsgemäß werden durch den dritten Spiegel weitere Lichtverluste – aufgrund von unvermeidbaren Spiegel-mängeln – in Kauf genommen, wobei die Anordnung der drei Spiegel wie beim kardanisch aufgehängten Scannspiegel bewirkt, daß der Strahldrehpunkt in den beiden Scanrichtungen x und y in einem Punkt zusammenfällt. Wäre dies nicht der Fall, entstünden im Scanvorgang nicht korrigierbare Fehler und Strahlvignettierungen, da dann nämlich kein telezentrischer Strahlengang mehr vorläge. Die hier beanspruchte Anordnung erzeugt eine geringe y-abhängige relative Zeilenverschiebung von

$$\frac{\Delta x}{y} = \frac{\sin \frac{\beta}{2}}{\tan \gamma}$$

mit dem y-Scanwinkel β und dem Strahlwinkel α zwischen der Rotationsachse des y-Scanners und dem Strahl, der auf den x-Scanspiegel fällt.

Die Zeilenverschiebung ist bei einem typischen Scanwinkel β von 7° kleiner als 2% der Bildbreite und somit für viele Anwendungen vernachlässigbar. Falls notwendig kann sie jedoch leicht durch einen geeigneten y-abhängigen Offset auf dem x-Antrieb kompensiert werden. Zu beachten ist in besonderen Fällen auch, daß die Polarisation am oberen und unteren Rand des Bildes um wenige Grad gedreht ist. Der Nachteil, daß hier drei Spiegel anstatt ein Spiegel z. B. bei kardanischer Aufhängung verwendet werden, wird bei der Anforderung hoher Scanraten leicht wett gemacht, und zwar durch die wesentlich kleinere Masse, die hier beschleunigt werden muß.

In erfindungsgemäßer Weise ist jedenfalls wesentlich, daß eine Minimierung von Abbildungsfehlern auf Kosten von Lichtverlusten stattfindet, die jedoch bei zahlreichen Anwendungen zumindest in gewissem Rahmen von einer untergeordneten Bedeutung sind.

Hinsichtlich einer konkreten Ausgestaltung der hier beanspruchten optischen Anordnung sind die beiden gemeinsam

drehenden Spiegel – erster und zweiter Spiegel – dem alleine drehenden dritten Spiegel im Strahlengang vorgeschaltet bzw. vorgeordnet. Der einfallende Strahl fällt auf den ersten der beiden einander zugeordneten Spiegel, und zwar in ganz besonders vorteilhafter Weise in deren gemeinsamer Drehachse – y-Achse.

Hinsichtlich einer kompakten Bauweise der optischen Anordnung ist es von Vorteil, wenn die beiden einander zugeordneten Spiegel auf einer drehbaren Aufnahme angeordnet sind, wobei die Winkelposition der beiden Spiegel zueinander und deren Abstand unveränderlich ist. Die gesamte Aufnahme ist um die optische Achse – y-Achse – des einfallenden Strahls drehbar.

Ebenso ist es möglich, die beiden einander zugeordneten Spiegel – statt auf einer einfachen Aufnahme – in einem Gehäuse anzuordnen, wobei insoweit ein Schutz der Spiegel gegeben wäre. Entsprechend der Ausgestaltung der zuvor erörterten Aufnahme würde das Gehäuse um die optische Achse – y-Achse – des einfallenden Strahls drehen.

Das Gehäuse weist des weiteren eine Eintrittsöffnung für den einfallenden Strahl auf, wobei der Strahl in der Drehachse des Gehäuses auf den ersten der beiden einander zugeordneten Spiegel trifft bzw. fällt und zum zweiten Spiegel reflektiert wird. Der dritte Spiegel könnte außerhalb des Gehäuses drehbar angeordnet sein. Im Rahmen einer ganz besonders vorteilhaften Ausgestaltung weist das Gehäuse jedoch eine Ausnehmung auf und ist das Gehäuse dieser Ausnehmung gegenüber zumindest teilweise offen. Der alleine drehende dritte Spiegel – x-Drehachse – ist vom Gehäuse unabhängig drehbar und dabei innerhalb der Ausnehmung des Gehäuses angeordnet.

Entsprechend der Anordnung der ersten beiden innerhalb des Gehäuses starr angeordneten Spiegel wird der Strahl vom zweiten Spiegel zur Ausnehmung des Gehäuses hin und reflektiert der dort angeordnete alleine drehende dritte Spiegel den auf dessen Spiegelfläche fallenden Strahl nach außerhalb des Gehäuses oder wieder in das Gehäuse zurück und durch eine besondere Austrittsöffnung aus dem Gehäuse heraus. Gemäß der voranstehend geschilderten Ausführung ist eine kompakte Bauweise innerhalb eines Gehäuses realisiert, wobei der dritte Spiegel im Bereich der Ausnehmung des Gehäuses quasi innerhalb des Gehäuses frei drehbar angeordnet ist. Letztendlich ist der dritte Spiegel durch das Gehäuse zumindest teilweise abgedeckt bzw. überdeckt und damit zumindest weitgehend geschützt.

Im Rahmen einer weiteren Ausführungsform könnten den beiden einander in der vorgegebenen Winkelposition drehfest zugeordneten, gemeinsam um die optische Achse drehenden Spiegeln – erster und zweiter Spiegel – und dem alleine drehenden Spiegel – dritter Spiegel – ein weiteres Spiegelpaar nachgeordnet sein, wobei diesem weiteren Spiegelpaar zwei einander in einer vorgegebenen Winkelposition drehfest zugeordnete Spiegel – vierter und fünfter Spiegel – zugeordnet sind. Letztendlich wäre der vierte und der fünfte Spiegel ähnlich dem ersten und zweiten Spiegel fest einander zugeordnet, und zwar in einer vorgegebenen Winkelposition der jeweiligen Spiegelflächen.

Die beiden weiteren Spiegel könnten auf einer um die optische Achse drehenden Aufnahme montiert sein, wie dies bei den ersten beiden Spiegeln der Fall sein kann. Der alleine um die x-Achse drehbare dritte Spiegel könnte dabei beweglich mit der zweiten Aufnahme verbunden sein, wobei dieser dritte Spiegel unabhängig von der zweiten Aufnahme um die x-Achse drehen kann, jedoch gemeinsam mit der zweiten Aufnahme um die y-Achse schwenkbar wäre.

Im Rahmen einer ganz besonders raffinierten Ausgestaltung wäre die erste Aufnahme auf der zweiten Aufnahme angeordnet und wäre mit dieser um die optische Achse dreh-

bar verbunden, wobei sich die von der zweiten Aufnahme unabhängige Drehbarkeit der ersten Aufnahme ebenfalls auf die y-Achse bzw. optische Achse bezieht.

Wie auch bereits bei der zuvor erörterten Dreispiegelanordnung können im Rahmen einer besonders kompakten Ausgestaltung die beiden einander zugeordneten weiteren Spiegel – vierter und fünfter Spiegel – in einem um die optische Achse – y-Achse – drehbaren zweiten Gehäuse angeordnet sein, wobei der alleine um die x-Achse drehbare dritte Spiegel beweglich in dem zweiten Gehäuse angeordnet ist. Das erste Gehäuse könnte wiederum in dem zweiten Gehäuse angeordnet und mit diesem um die optische Achse – y-Achse – drehbar verbunden sein. Die unabhängige Drehbarkeit des ersten Gehäuses bezieht sich jedenfalls ebenfalls auf die optische Achse bzw. y-Achse.

Bereits zuvor wurde mehrfach angedeutet, daß die Aufnahme bzw. das Gehäuse in der optischen Achse – y-Achse – des einfallenden Strahls dreht. Ebenso ist es möglich, daß der ausfallende Strahl in der optischen Achse des einfallenden Strahls liegt. Es wäre jedoch auch denkbar, den ausfallenden Strahl unter einem beliebigen Winkel zur optischen Achse des einfallenden Strahls auszurichten, so bspw. den ausfallenden Strahl in etwa orthogonal zum einfallenden Strahl zu führen.

Die Spiegel der zuvor erörterten Anordnung könnten im Rahmen einer besonders einfachen Ausgestaltung planar ausgebildete Spiegelflächen aufweisen. Ebenso wäre es jedoch auch denkbar, die Spiegel mit einer zumindest geringförmig gewölbten Spiegelfläche auszustatten, wobei die Wölbung der Spiegelfläche zur Abbildung bzw. Korrektur von Abbildungsfehlern herangezogen werden kann.

Ein ganz besonderer Vorteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist darin zu sehen, daß sich die Antriebe für die Drehbewegung der Spiegel bzw. der Aufnahmen oder der Gehäuse von diesen Bauteilen zumindest in konstruktiver bzw. körperlicher Hinsicht entkoppeln lassen. In vorteilhafter Weise sind nämlich die Antriebe ortsfest angeordnet, müssen demnach in keiner Weise mitbewegt werden. Insofern lassen sich als Antriebe problemlos Galvanometer, insbesondere auch resonante Galvanometer mit hohen Frequenzen verwenden, ohne zu große Schwingungseinträge in das Mikroskopsystem hervorzurufen. Letztendlich lassen sich insoweit große Bildraten erzeugen, die eine Echtzeitverarbeitung ermöglichen.

Im Rahmen der Verwendung von Galvanometern als Antriebe ist es von weiterem Vorteil, wenn die um die y-Achse drehenden Spiegel von einem Galvanometer und der um die x-Achse drehende Spiegel von einem resonanten Galvanometer mit hoher Frequenz drehangetrieben sind. Ebenso ist es jedoch auch denkbar, als Antrieb einen Stepper-Motor bzw. Schrittmotor vorzusehen.

Die Drehbarkeit der Spiegel kann beliebig ausgeführt werden, wobei es hinreichend ist, wenn die Spiegel in einem Bereich bis etwa 60° drehbar sind. Eine weiterreichende Drehbarkeit ist entsprechend der konkret gewählten Anordnung meist nicht erforderlich.

Wie bereits eingangs ausgeführt, treten auch bei der hier vorgeschlagenen Anordnung hyperbolische Verzeichnungen bei der Abbildung auf. In vorteilhafter Weise sind diese hyperbolischen Verzeichnungen in Abhängigkeit von der y-Position korrigierbar. Im Konkreten könnte die hyperbolische Verzeichnung durch einen geeigneten y-abhängigen Offset auf den x-Antrieb kompensiert werden, wobei hier zu beachten ist, daß die Polarisation am oberen und unteren Rand des Bildes um wenige Grad gedreht ist.

Die hyperbolische Verzeichnung könnte auch erst bei der Auswertung des x-Positionssignals berücksichtigt und kompensiert werden. Eine solche Berücksichtigung und Kom-

pensation der hyperbolischen Verzeichnung könnte bspw. nach der Bilddigitalisierung erfolgen.

Es gibt nun verschiedene Möglichkeiten, die Lehre der vorliegenden Erfindung in vorteilhafter Weise auszugestalten und weiterzubilden. Dazu ist einerseits auf die dem Patentanspruch 1 nachgeordneten Ansprüche, andererseits auf die nachfolgende Erläuterung von Ausführungsbeispielen der Erfindung anhand der Zeichnung zu verweisen. In Verbindung mit der Erläuterung der bevorzugten Ausführungsbeispiele der Erfindung werden auch im allgemeinen bevorzugte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Lehre erläutert. In der Zeichnung zeigt

Fig. 1 in einer schematischen Darstellung ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen optischen Anordnung zum Scannen eines Strahls in zwei im wesentlichen senkrecht zueinander liegenden Achsen, wobei hier insgesamt drei Spiegel vorgesehen sind,

Fig. 2 die Anordnung aus **Fig. 1**, wobei die Spiegel in einem Gehäuse angeordnet sind,

Fig. 3 die Anordnung aus **Fig. 2** in einer den Strahlengang und die Drehbewegung der Spiegel schematisch darstellenden Ansicht,

Fig. 4 die mit der Vorrichtung aus **Fig. 3** realisierbare Abbildung mit Abbildungsfehlern und

Fig. 5 ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Anordnung mit insgesamt fünf Spiegeln, ähnlich der Darstellung aus **Fig. 1**.

Fig. 1 zeigt eine optische Anordnung zum Scannen eines Strahls in zwei im wesentlichen senkrecht zueinander liegenden Achsen, wobei sich diese Anordnung insbesondere bei konfokalen Laserscanmikroskopen anwenden läßt. Die Anordnung umfaßt zwei mittels jeweils eines Antriebs um senkrecht zueinander liegende Achsen – x-Achse und y-Achse – drehbare Spiegel 1, 2.

In erfindungsgemäßer Weise ist dem Spiegel 1 ein weiterer Spiegel 2 in einer vorgegebenen Winkelposition drehfest zugeordnet, so daß die einander zugeordneten Spiegel 1, 2 – erster und zweiter Spiegel – gemeinsam um die y-Achse drehen und dabei den Strahl um einen Drehpunkt drehen, der auf der Drehachse – x-Achse des alleine drehenden dritten Spiegels 3 liegt.

Die beiden gemeinsam drehenden Spiegel 1, 2 – erster und zweiter Spiegel – sind dem alleine drehenden dritten Spiegel 3 im Strahlengang vorgeschaltet, wobei der einfallende Strahl 4 auf den ersten Spiegel 1 der beiden einander zugeordneten Spiegel 1, 2 in deren gemeinsamer Drehachse 5 fällt.

Bei dem in den **Fig. 1, 2** und **3** gezeigten Ausführungsbeispiel ist angedeutet, daß die beiden einander zugeordneten Spiegel 1, 2 in einem Gehäuse 6 angeordnet sind. Das Gehäuse 6 dreht um die optische Achse 5 – y-Achse – des einfallenden Strahls 4.

Die **Fig. 1** und **2** zeigen des weiteren, daß das Gehäuse 6 eine Eintrittsöffnung 7 für den einfallenden Strahl 4 aufweist, wobei der Strahl 4 in der Drehachse 5 des Gehäuses 6 auf den ersten Spiegel 1 der beiden einander zugeordneten Spiegel 1, 2 trifft und vom ersten Spiegel 1 aus zum zweiten Spiegel 2 reflektiert wird.

Gemäß der Darstellung in **Fig. 2** weist das Gehäuse eine Ausnehmung 8 auf und ist das Gehäuse 6 dieser Ausnehmung 8 gegenüber offen. Der alleine drehende dritte Spiegel 3 ist vom Gehäuse 6 unabhängig um die x-Achse drehbar in der Ausnehmung 8 angeordnet.

Der auf den alleine drehenden Spiegel 3 fallende Strahl 9 wird von dem dritten Spiegel 3 zurück in das Gehäuse 6 und durch eine Austrittsöffnung 10 aus dem Gehäuse 6 heraus zur Abbildung reflektiert.

Unter Bezugnahme auf **Fig. 1** sei noch einmal angemerkt,

daß die Spiegel 1 und 2 fest mit dem Gehäuse 6 verbunden sind, und zwar in einer vorgegebenen Winkelposition zueinander. Das Gehäuse 6 selbst ist um die optische Achse 5 bzw. y-Achse drehbar. Der dritte Spiegel 3 ist um die x-Achse drehbar, die orthogonal zur optischen Achse 5 ausgebildet ist.

Eine Drehung des Spiegels 3 um die x-Achse rastert demnach das Bild in x-Richtung. Eine Drehung des Gehäuses 6 um die optische Achse 5 rastert das Bild in y-Richtung. Eine gleichzeitige Drehung des Gehäuses 6 um die optische Achse 5 und des Spiegels 3 um die x-Achse rotiert das Bild. Dabei entstehende y-abhängige x-Verschiebungen lassen sich durch einen y-abhängigen Offset korrigieren. Polarisationsdrehungen lassen sich durch y-abhängige Drehungen des Scanners korrigieren.

Abbildungsfehler bzw. hyperbolische Verzeichnungen 17 sind in **Fig. 4** dargestellt, wie sie sich nämlich bei Anwendung einer Anordnung gemäß der **Fig. 1** bis **3** ergeben. Hinsichtlich sonstiger Korrekturmöglichkeiten wird zur Vermeidung von Wiederholungen auf den allgemeinen Teil der Beschreibung verwiesen.

Fig. 5 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen optischen Anordnung zum Scannen eines Strahls in zwei im wesentlichen senkrecht zueinander liegenden Achsen, wobei den beiden einander in einer vorgegebenen Winkelposition drehfest zugeordneten, gemeinsam um die optische Achse 5 drehenden Spiegeln 1, 2 – erster und zweiter Spiegel – und dem alleine drehenden Spiegel 3 – dritter Spiegel – ein weiteres Spiegelpaar nachgeordnet ist. Dieses weitere Spiegelpaar umfaßt zwei einander in einer vorgegebenen Winkelposition drehfest zugeordnete Spiegel 11, 12, nämlich einen vierten und einen fünften Spiegel.

Die beiden weiteren Spiegel 11, 12 sind in eine um die optische Achse 5 – y-Achse – drehbaren zweiten Gehäuse 13 angeordnet, wobei der alleine um die x-Achse drehbare dritte Spiegel 3 beweglich in dem zweiten Gehäuse 13 angeordnet ist. **Fig. 5** zeigt des weiteren andeutungsweise, daß das erste Gehäuse 6 in dem zweiten Gehäuse 13 angeordnet und mit diesem um die optische Achse 5 drehbar verbunden ist. Der ausfallende Strahl 14 liegt in der optischen Achse 5 des einfallenden Strahls 4, wobei ein beliebiger Winkel des ausfallenden Strahls zur optischen Achse je nach Anforderung realisierbar ist.

Unter Bezugnahme auf **Fig. 5** sei noch einmal angemerkt, daß die Spiegel 1 und 2 fest mit dem Gehäuse 6 verbunden sind, und zwar unter einer vorgegebenen Winkelstellung zueinander. Die Spiegel 11, 12 sind fest mit dem zweiten Gehäuse 13 verbunden. Der um die x-Achse drehbare dritte Spiegel 3 ist um die x-Achse drehbar mit dem zweiten Gehäuse 13 verbunden. Das erste Gehäuse 1 ist in dem zweiten Gehäuse 13 um die optische Achse 5 beweglich angeordnet, wobei das Gehäuse 6 mit dem Gehäuse 13 verbunden ist. Das zweite Gehäuse 13 ist um die optische Achse 5 drehbar, wobei eine Drehung des Spiegels 3 um die x-Achse senkrecht zur optischen Achse 5 eine Rasterung in x-Richtung vornimmt.

Eine Drehung des ersten Gehäuses 6 um die optische Achse 5 führt zu einer Rasterung in y-Richtung. Eine Drehung des zweiten Gehäuses 13 um die optische Achse 5 rotiert das Bild in der Bildmitte. Eine Verkleinerung des Scanwinkels in x- und y-Richtung zoomt das Bild.

Die Spiegelflächen der hier verwendeten Spiegel 1, 2, 11 und 12 sind planar ausgebildet. Hinsichtlich einer gewölbten Ausbildungsmöglichkeit und der damit verbundenen etwaigen Vorteile wird auf den allgemeinen Teil der Beschreibung verwiesen.

Als Antriebe sind hier Galvanometer vorgesehen, wobei es sich bei dem Antrieb um die y-Achse um einen Galvano-

meter 15 und bei dem Antrieb um die x-Achse um einen resonanten Galvanometer 16 handelt. Andere Antriebe sind ebenfalls einsetzbar.

Abschließend sei ganz besonders hervorgehoben, daß die voranstehend erörterten Ausführungsbeispiele zur Verdeutlichung der beanspruchten Lehre dienen, diese jedoch nicht auf die Ausführungsbeispiele einschränken.

Patentansprüche

1. Optische Anordnung zum Scannen eines Strahls in zwei im wesentlichen senkrecht zueinander liegenden Achsen, insbesondere zur Anwendung bei konfokalen Laserscanmikroskopen, mit zwei mittels jeweils eines Antriebs um senkrecht zueinander liegende Achsen – x-Achse und y-Achse – drehbaren Spiegeln (1, 3), **dadurch gekennzeichnet**, daß einem der beiden Spiegel (1, 3) ein weiterer Spiegel (2) in einer vorgegebenen Winkelposition drehfest zugeordnet ist, so daß die einander zugeordneten Spiegel (1, 2) – erster und zweiter Spiegel – gemeinsam um die y-Achse drehen und dabei den Strahl (4) um einen Drehpunkt drehen, der auf der Drehachse – x-Achse – des alleine drehenden dritten Spiegels (3) liegt.
2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden gemeinsam drehenden Spiegel (1, 2) – erster und zweiter Spiegel – dem alleine drehenden dritten Spiegel (3) im Strahlengang vorgeschaltet sind.
3. Anordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der einfallende Strahl (4) auf den ersten der beiden einander zugeordneten Spiegel (1, 2) in deren gemeinsamer Drehachse (5) – y-Achse – fällt.
4. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden einander zugeordneten Spiegel (1, 2) auf einer drehbaren Aufnahme angeordnet sind.
5. Anordnung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufnahme um die optische Achse (5) – y-Achse – des einfallenden Strahls (4) dreht.
6. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden einander zugeordneten Spiegel (1, 2) in einem Gehäuse (6) angeordnet sind.
7. Anordnung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Gehäuse (6) um die optische Achse (5) – y-Achse – des einfallenden Strahls (4) dreht.
8. Anordnung nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Gehäuse (6) eine Eintrittsöffnung (7) für den einfallenden Strahl (4) aufweist, wobei der Strahl (4) in der Drehachse des Gehäuses (6) auf den ersten der beiden einander zugeordneten Spiegel (1) trifft und zum zweiten Spiegel (2) reflektiert wird.
9. Anordnung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Gehäuse (6) eine Ausnehmung (8) aufweist und dieser gegenüber zumindest teilweise offen ist und daß der alleine drehende dritte Spiegel (3) vom Gehäuse (6) unabhängig drehbar in der Ausnehmung (8) angeordnet ist.
10. Anordnung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der auf den alleine drehenden dritten Spiegel (3) fallende Strahl (9) von diesem in das Gehäuse (6) zurück und durch eine Austrittsöffnung (10) aus dem Gehäuse (6) heraus reflektiert wird.
11. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß den beiden einander in einer vorgegebenen Winkelposition drehfest zugeordneten, gemeinsam um die optische Achse (5) drehen-

den Spiegeln (1, 2) – erster und zweiter Spiegel – und dem alleine drehenden Spiegel (3) – dritter Spiegel – eine weiteres Spiegelpaar nachgeordnet ist und daß dieses weitere Spiegelpaar zwei einander in einer vorgegebenen Winkelposition drehfest zugeordnete Spiegel (11, 12) – vierter und fünfter Spiegel – umfaßt.

12. Anordnung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden weiteren Spiegel (11, 12) auf einer um die optische Achse (5) drehenden Aufnahme montiert sind, wobei der alleine um die x-Achse drehbare Spiegel beweglich mit der zweiten Aufnahme verbunden ist.

13. Anordnung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Aufnahme auf der zweiten Aufnahme angeordnet und mit dieser um die optische Achse (5) drehbar verbunden ist.

14. Anordnung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden einander zugeordneten weiteren Spiegel (11, 12) – vierter und fünfter Spiegel – in einem um die optische Achse (5) – y-Achse – drehbaren zweiten Gehäuse (13) angeordnet sind, wobei der alleine um die x-Achse drehbare dritte Spiegel (3) beweglich in dem zweiten Gehäuse (13) angeordnet ist.

15. Anordnung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß das erste Gehäuse (6) in dem zweiten Gehäuse (13) angeordnet und mit diesem um die optische Achse (5) drehbar verbunden ist.

16. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß der ausfallende Strahl (14) in der optischen Achse (5) des einfallenden Strahls (4) liegt.

17. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß der ausfallende Strahl (14) unter einem beliebigen Winkel zur optischen Achse (5) des einfallenden Strahls (4) ausgerichtet ist.

18. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Spiegel (1, 2, 3, 11, 12) eine planar ausgebildete Spiegelfläche aufweisen.

19. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Spiegel (1, 2, 3, 11, 12) eine zumindest geringfügig gewölbte Spiegelfläche aufweisen.

20. Anordnung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Wölbung der Spiegelfläche zur Abbildung herangezogen wird.

21. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Antriebe ortsfest angeordnet sind.

22. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß als Antriebe Galvanometer (15) vorgesehen sind.

23. Anordnung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß es sich bei den Galvanometern um resonante Galvanometer (16) handelt.

24. Anordnung nach Anspruch 22 oder 23, dadurch gekennzeichnet, daß die um die Y-Achse drehenden Spiegel von einem Galvanometer (15) und der um die x-Achse drehende Spiegel von einem resonanten Galvanometer (16) drehangetrieben sind.

25. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß als Antrieb ein Stepper-Motor vorgesehen ist.

26. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Spiegel (1, 2, 3, 11, 12) unter verschiedenen Winkeln drehbar sind, vorzugsweise im Bereich bis etwa 60°.

27. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß eine hyperbolische Ver-

zeichnung (17) abhängig von der y-Position korrigierbar ist.

28. Anordnung nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, daß die hyperbolische Verzeichnung (17) durch einen geeigneten y-abhängigen Offset auf dem x-Antrieb kompensierbar ist. 5

29. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 28, dadurch gekennzeichnet, daß die hyperbolische Verzeichnung (17) bei der Auswertung des x-Positionssignals berücksichtigt und kompensiert wird. 10

30. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 29, dadurch gekennzeichnet, daß die hyperbolische Verzeichnung (17) nach der Bilddigitalisierung berücksichtigt und kompensiert wird. 15

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

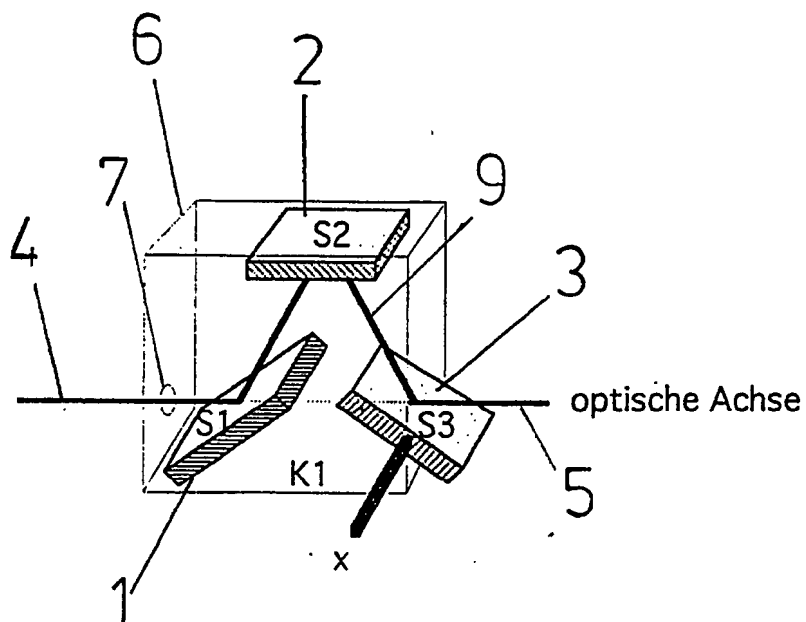


Fig. 1

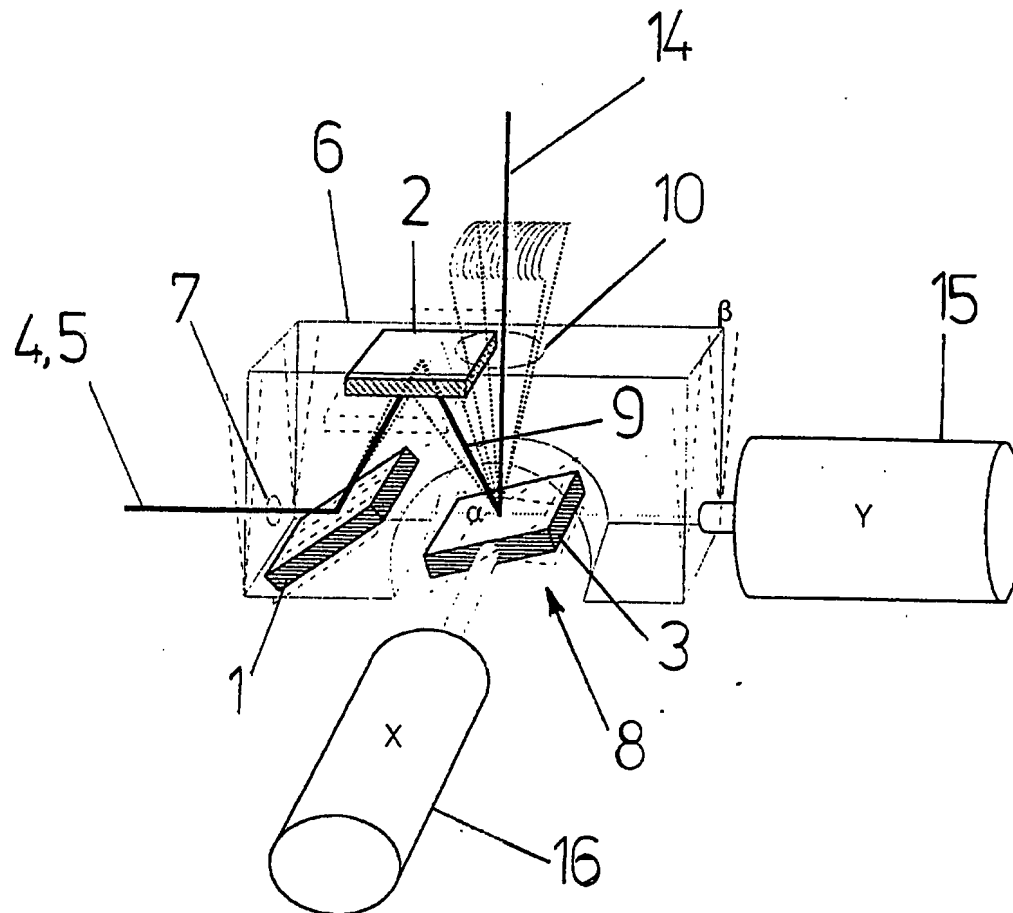


Fig. 2

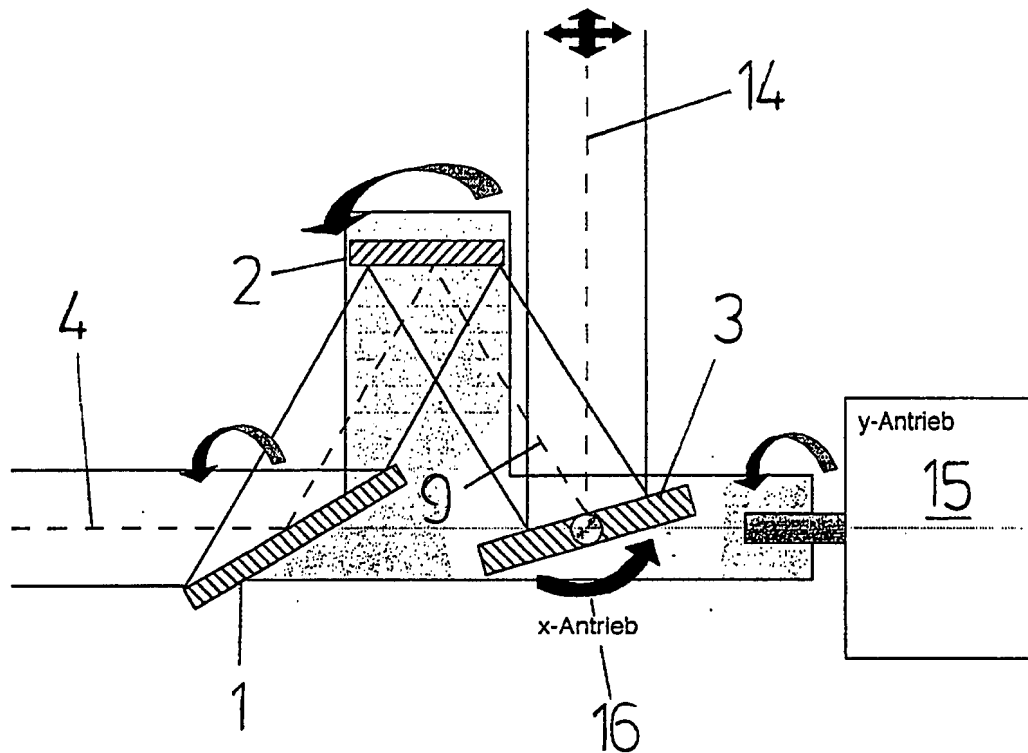


Fig. 3

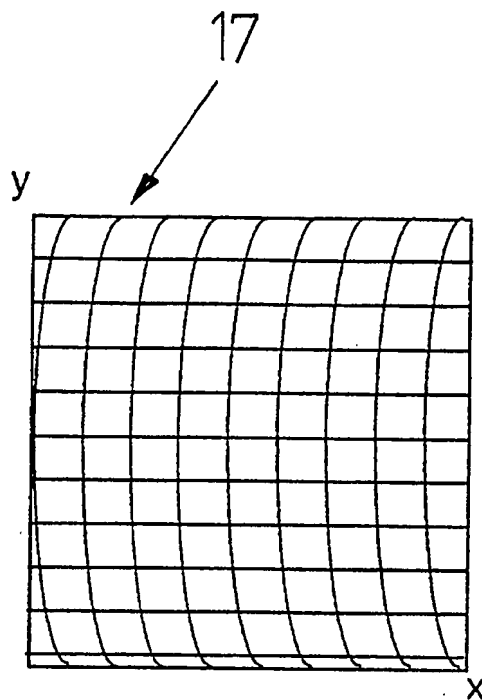


Fig. 4

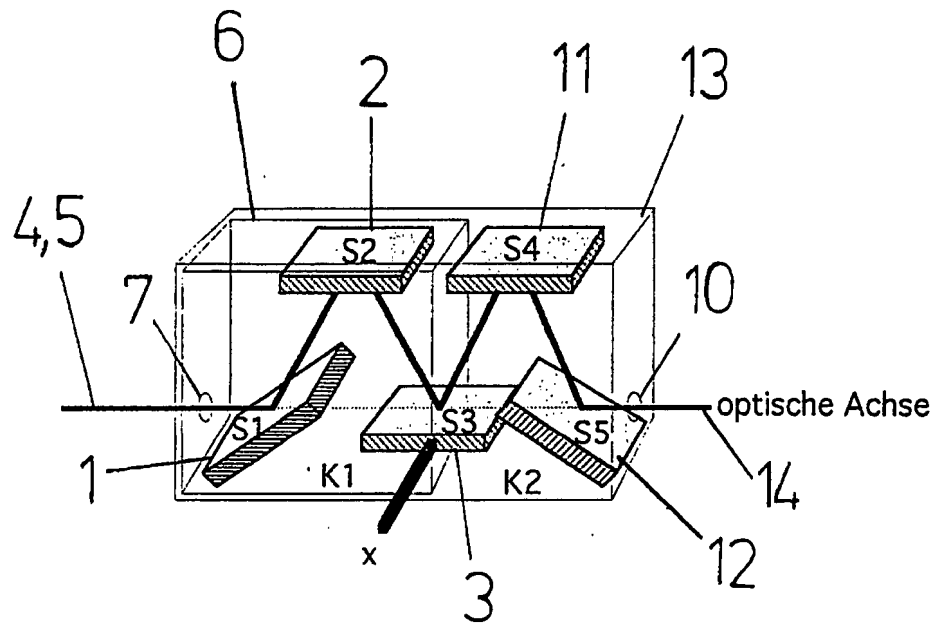


Fig. 5